

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЫ, ПУЧКОВ ЧАСТИЦ И ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

УДК 539.1.074.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕКОВОЙ СТАНЦИИ ИЗ ЛАВСАНОВЫХ ДРЕЙФОВЫХ ТРУБОК ДЛЯ УСТАНОВКИ ФОДС

© 2020 г. М. Е. Баринов^а *, А. С. Кожин^а, Л. К. Турчанович^а

^аИнститут физики высоких энергий имени А.А. Логунова Национального исследовательского центра
“Курчатовский институт”, пл. Науки 1, Протвино, Московская обл., 142281 Россия

*E-mail: Mikhail.Barinov@mail.ihep.ru

Поступила в редакцию 04.03.2021 г.

После доработки 11.05.2021 г.

Принята к публикации 12.05.2021 г.

Представлена конструкция станции, предназначенной для регистрации треков заряженных частиц. Станция собрана из двух взаимно ортогональных камер, в каждой камере по три слоя плотно упакованных дрейфовых трубок в лавсановом корпусе. Слой состоит из 24 трубок длиной 810 и диаметром 30 мм. Трековые станции используются в экспериментах на установке для регистрации частиц с большими поперечными импульсами ускорительного комплекса НИЦ “Курчатовский Институт” — ИФВЭ. Описана процедура проверки камер из дрейфовых трубок. Приведены результаты тестирования камер на космических мюонах и на пучке протонов.

Ключевые слова: газовые детекторы, дрейфовые трубки, трековые детекторы, проволочные камеры

DOI: 10.1134/S207956292006010X

ВВЕДЕНИЕ

Двухплечевой поворотный спектрометр ФОДС [1] предназначен для изучения одиночного и парного образования адронов с большими поперечными импульсами в протон-протонных и протон-адронных взаимодействиях [2] на 70-ГэВ ускорителе НИЦ КИ–ИФВЭ [3] (рис. 1, ДК–ДТ — дрейфовые камеры с распределенным потенциалом и камеры из дрейфовых трубок в алюминиевом корпусе). С целью изучения редких процессов, например, кумулятивных, установка ФОДС модернизируется. В частности, для более точного определения импульса частиц усиливается его трековая часть, добавляются новые детекторы на основе дрейфовых трубок в лавсановом корпусе [4], имеющие малое количество вещества. Предусмотрена установка шести новых трековых станций в промежутке между уже существующими (ДК и ДТ). Каждая станция состоит из двух камер с взаимно ортогональной ориентацией трубок, которые склеены в виде трехслойной структуры.

После изготовления трековые станции подвергаются всесторонней проверке, заканчивающейся полным включением и регистрацией космического излучения.

В настоящее время изготовлены и полностью испытаны три станции камер. Две из них внедрены в состав аппаратуры установки ФОДС. В данной работе описаны проверки изготовленных де-

текторов и приведены результаты, характеризующие работоспособность станций.

КОНСТРУКЦИЯ КАМЕР И ИХ ПРОВЕРКА

Камеры для станции собраны из дрейфовых трубок, корпус которых изготовлен из лавсановой (“майлар”) пленки толщиной 125 мкм, с двухсторонним напылением алюминия (0.08 мкм). Внутренний диаметр трубок 29.6 мм. В центре трубки натянута сигнальная проволока диаметром 50 мкм. Камера состоит из трех слоев трубок (рис. 2б) длиной 810 мм, их число в слое — 24. Трубки в камере склеены в местах соприкосновения таким образом, что расстояние между сигнальными проволоками любых соседних трубок равно 30.035 мм. Более детально конструкция отдельной камеры представлена в работе [5].

Две камеры с взаимно ортогональной ориентацией трубок смонтированы в общей раме (рис. 2а), снабженной опорами для установки их в спектрометре.

Газовое соединение трубок в каждом слое последовательное. Слои камеры подсоединены параллельно к газовым коллекторам (входному и выходному). Внутренний объем одной камеры составляет 38.6 л. Камеры в станции имеют независимые газовые системы. Большинство газовых соединений уплотняется при помощи резиновых кольцевых прокладок (O-rings). Качество уплотнений

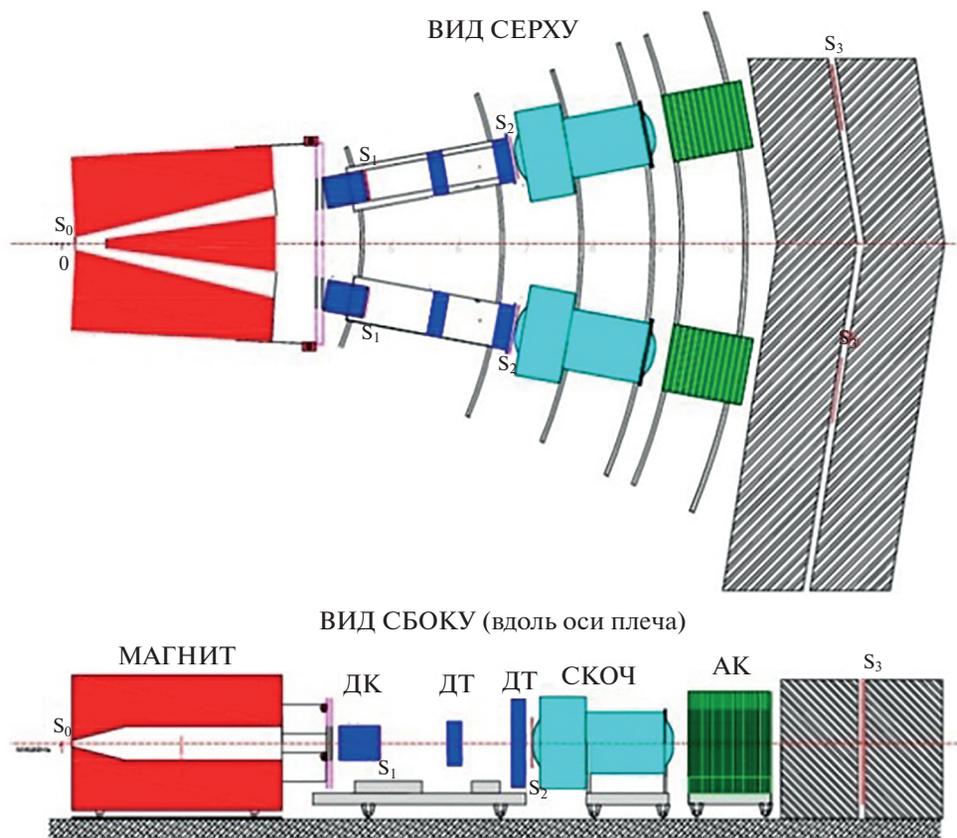


Рис. 1. Схема установки ФОДС.

проверяется при помощи течеискателя с заполнением камеры гелием. Окончательная проверка герметичности камеры определяется по скорости падения давления. При избыточном давлении аргона около 0.5 атм скорость падения давления в шести проверенных камерах лежит в диапазоне 1–13 мбар/сут.

Подача высокого напряжения и съем сигнала осуществляется с противоположных сторон дрейфовой трубки. Резисторы (согласующие, ограничительные) и разделительные конденсаторы вынесены на специальные платы, каждая на 24 трубки. Эти платы крепятся на торцах камеры и закрыты электромагнитными экранами. Для подключения усилителей на сигнальных платах установлены разъемы (1 на 8 трубок)

Камеры могут работать на любой газовой смеси, не содержащей агрессивных по отношению к алюминию добавок, с рабочим напряжением до 3.5 кВ. Комплексная проверка работоспособности камеры проводилась на смеси Ag/CO_2 93/7%, при повышенном давлении (около 1500 мбар). После заполнения камеры газовой смесью подводящие газовые коммуникации перекрывались. Повышенное давление увеличивает рабочее напряже-

ние, что повышает надежность проверки качества всех элементов камеры, находящихся под высоким потенциалом. Одновременно измерялась скорость падения давления.

Комплексная проверка станции проведена на специальном стенде (рис. 2а) при помощи электронной аппаратуры [6], работающей в так называемом “бестриггерном” режиме. Регистрацию момента прихода сигналов с дрейфовых трубок обеспечивает время – цифровой преобразователь (ВЦП) с точностью 5 нс. Порог усилителей равен примерно 0.8 мкА.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ

После подключения и проверки всех электрических соединений работа с камерой начинается с измерения зависимости скорости счета всех дрейфовых трубок от величины приложенного напряжения (высоковольтный скан). Эта операция выполняется в автоматическом режиме, высокое напряжение меняется по заданной программе. Пример результата сканирования показан на рис. 3а, где скорость счета для всех (144) трубок станции в зависимости от напряжения изображена на

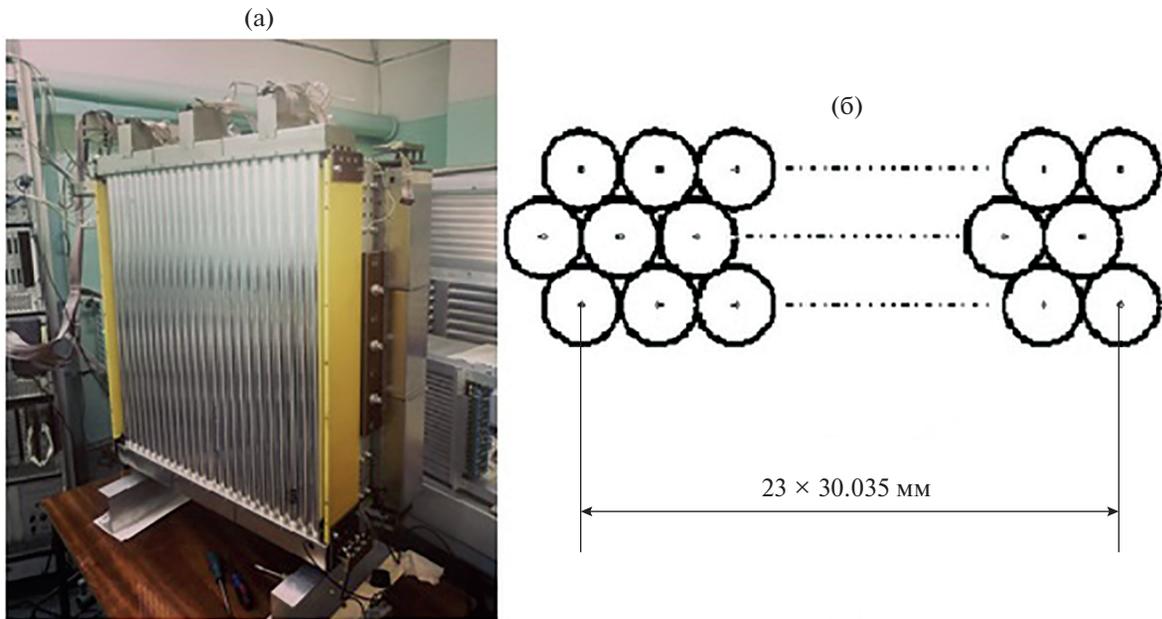


Рис. 2. Трековая станция: (а) около стенда для проверки на космических мюонах; (б) схема поперечного сечения камеры.

одном графике. Видно ярко выраженное плато на уровне 8–11 Гц в интервале 2.25–2.45 кВ, где трубки эффективно регистрируют естественный радиационный фон (от окружающих радиоактивных изотопов и космического излучения). Установив, таким образом, диапазон рабочего напряжения можно провести длительную экспозицию (порядка одного часа) для более детального анализа с целью выделения протяженных (пересекающих более 6 дрейфовых трубок в одной камере) треков космических мюонов. Число сигналов, зарегистрированных во время такой экспозиции, показано на рис. 3б, где нижняя заштрихованная гистограмма — число сигналов в трубке при условии совпадения в интервале 800 нс с сигналами других (не менее 9) трубок; а верхняя — все сигналы. Видно четкое разделение двух камер: Y-камера с горизонтальными трубками (0–71); X-камера, где трубки расположены вертикально (72–143). Видно, что отсутствуют “мертвые” каналы.

Поиск упомянутых выше совпадений (кратность совпадений может меняться) является начальным этапом реконструкции протяженных треков (в основном это космические мюоны). По измеренным временам дрейфа (t_i), используя соотношение $R(t)$, можно определить расстояние (R_i) от центра i -ой трубки до трека (строго говоря, речь идет о проекции трека). Трек реконструируется как общая касательная к окружностям с радиусами (R_i) в груп-

пе сработавших в камере трубок. Примеры такой реконструкции треков показаны на рис. 4.

Оценку координатного разрешения отдельной трубки камеры можно получить, вычислив для реконструированных треков в каждой сработавшей трубке разницу (residual) $R_{fit} - R_{hit}$, где R_{fit} — расстояние от центра трубки до реконструированной прямой и R_{hit} — результат измерения в трубке. Гистограмма распределения разностей показана на рис. 5, кривая — фит суммой двух распределений Гаусса, в котором одно распределение связано с попаданием мюонов, а второе — с отклонениями, вызванными дельта-электронами. Таким образом, суммарное распределение можно рассматривать как грубую оценку разрешения регистрации частиц. Для исследованных камер σ узкой части фита лежит в интервале 0.2–0.3 мм.

Как сказано выше, две станции дрейфовых камер уже установлены и включены в систему сбора данных ФОДС [7]. Усилители на них (порог срабатывания ~ 0.9 мкА) и ВЦП отличаются от тех, что использовались при стендовых испытаниях на космических мюонах. Газовая смесь (Ar/CO₂ 93/7%), такая же, как и на стендовых испытаниях, давление близкое к атмосферному. Рабочее напряжение — 2 кВ. Предварительные результаты, полученные на пучке протонов от ускорителя У-70, продемонстрировали работоспособность трековых станций из майларовых трубок. На рис. 6а приведен пример временного спектра одной из станций. На рис. 6б показан профиль пучка (число сигналов в зависимости от номера трубки) для одного из слоев.

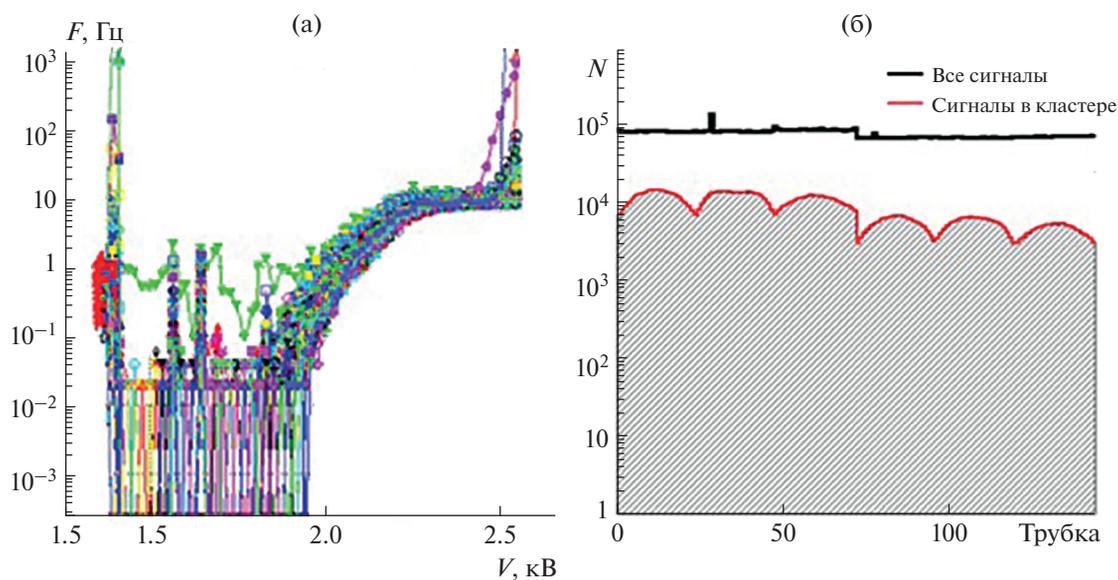


Рис. 3. Зависимость скорости счета дрейфовых трубок от величины приложенного напряжения (а); число сигналов для всех трубок в длительной экспозиции.

Время дрейфа (рис. 6а) совпадает со временем дрейфа в камере из алюминиевых дрейфовых трубок такого же диаметра (30 мм) и толщиной стенки 0.4 мм, которые используются на установке ФОДС около пяти лет. Но величина двукратных срабатываний на триггер составила 18% для трубок из майлара, в то время как для дрейфовых

трубок из алюминия она равна 47%, что облегчает реконструкцию треков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целях модернизации установки ФОДС в НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ разработаны станции, состоящие из двух взаимно ортогональ-

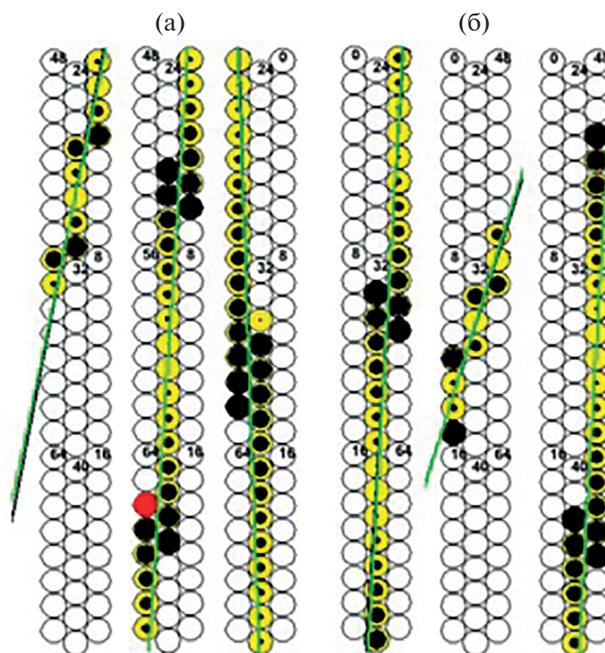


Рис. 4. Примеры реконструированных треков в X-камере (а), вид сверху; в Y-камере (б), вид сбоку.

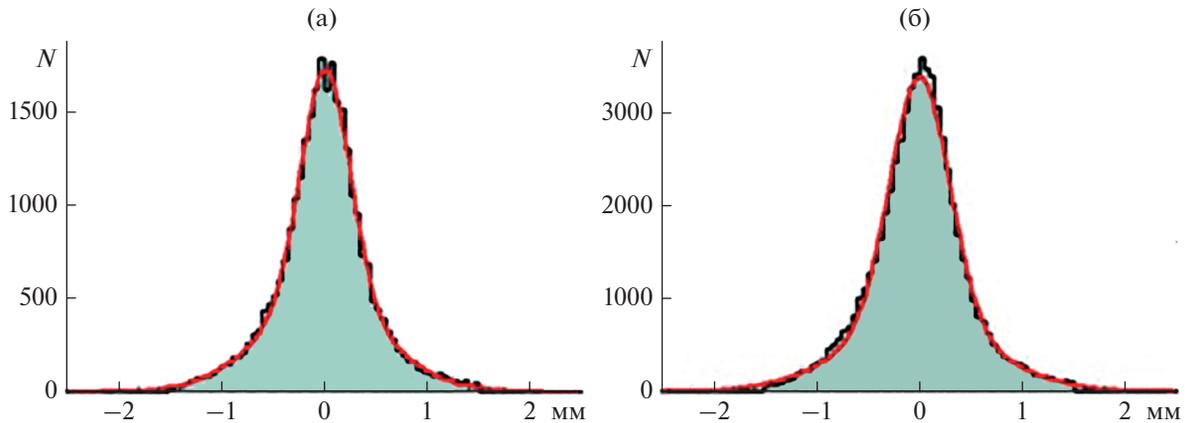


Рис. 5. Распределение $R_{\text{fit}} - R_{\text{hit}}$: X-камера (а); Y-камера (б).

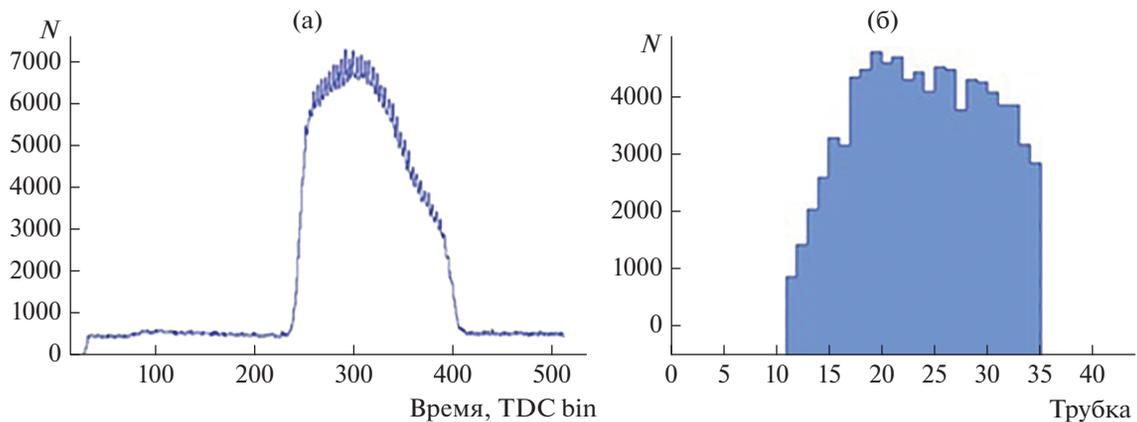


Рис. 6. Спектр времени дрейфа станции (а) и профиль пучка (б).

ных трековых камер из лавсановых дрейфовых трубок. Станции протестированы при помощи стендовой электронной аппаратуры на космических мюонах и на пучке протонов ускорителя. Продемонстрирована работоспособность трековых станций и преимущество лавсановых дрейфовых трубок по сравнению с алюминиевыми дрейфовыми трубками такого же диаметра.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что за счет уменьшения количества вещества в стенках дрейфовых трубок, лавсановые дрейфовые трубки оказывают минимальное воздействие на треки регистрируемых частиц, соответственно уменьшается многократное рассеяние, что значительно повышает точность реконструкции событий в установке.

БЛАГОДАРНОСТИ

Данная работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-02-00278.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. *Абрамов В.В. и др.* // Приборы и техника эксперимента. 1992. Т. 35. № 6. С. 75.
2. *Балдин А.А. и др.* // Программа корреляционных исследований при взаимодействии адронов и ядер при больших X_T [Correlational Research Program for the Interaction of Hadrons and Nuclei at Large X_T]. Препринт ИФВЭ. 2011–32.
3. <http://www.ihep.ru/pages/main/6580/6781/index.shtml>.
4. *Борисов А.А. и др.* // Приборы и техника эксперимента. 2013. Т. 56. № 2. С. 16. [*Borisov A.A. et al.* // *Instrum. Exp. Tech.* 2013. V. 56. No. 2. P. 134].
5. *Борисов А.А. и др.* // Приборы и техника эксперимента. 2014. Т. 57. № 4. С. 39. [*Borisov A.A. et al.* // *Instrum. Exp. Tech.* 2014. V. 57. No. 4. P. 410].
6. *Боголюбский М.Ю. и др.* // Приборы и техника эксперимента. 2013. Т. 56. № 2. С. 39. [*Bogolyubskii M.Y. et al.* // *Instrum. Exp. Tech.* 2013. V. 56. No. 2. P. 156].
7. *Волков А.А. и др.* // Система сбора данных установки ФОДС [FODS Installation Data Collection System]. Препринт ИФВЭ. 2011-16.

Chamber Made of Mylar Drift Tubes for the Fods Installation

M. E. Barinov^{1, *}, A. S. Kozhin¹, and L. K. Turchanovich¹

¹*Logunov Institute for High Energy Physics, National Research Center "Kurchatov Institute",
sq. Nauki 1, Protvino, Moscow obl., 142281 Russia*

**e-mail: Mikhail.Barinov@mail.ihep.ru*

Received March 4, 2021; revised May 11, 2021; accepted May 12, 2021

The design of a station for recording the tracks of charged particles is presented. The station is assembled from two mutually orthogonal chambers; each chamber contains three layers of tightly packed drift tubes made of Mylar. The layer consists of 24 tubes 810 mm long and 30 mm in diameter. Track stations are used in experiments on the setup for detection of particles with large transverse momenta of accelerator of NRC "Kurchatov Institute" — IHEP. The procedure for checking drift tube chambers is described. The results of testing chambers using cosmic muons and proton beams are presented.

Keywords: gas detectors, drift tubes, track detectors, wire chambers